

Pengaturan Switching Boost Converter Menggunakan Logika Fuzzy pada Sistem Solar Cell Sebagai Tenaga Alternatif

Diah Septi Yanaratri¹, Epyk Sunarno², Suhariningsih³

Mahasiswa Teknik Elektro Industri¹, Dosen Elektro Industri PENS-ITS², Dosen Elektro Industri PENS-ITS³

Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111

Telp (+62) 031-59447280 .Fax (+62) 031-5946114

Email: diahsepti@gmail.com

ABSTRAK

Energi surya merupakan sumber energi terbarukan yang tersedia tidak terbatas di alam. Untuk mendapatkan energi listrik yang berasal dari matahari diperlukan panel surya yang mengubah energi cahaya dari matahari menjadi energi listrik. Energi surya yang dihasilkan oleh panel surya 50 Watt Peak (WP) berkisar antara 9 Volt – 20 Volt. Untuk mendapatkan tegangan pengisian accu 48 Volt diperlukan suatu rangkaian boost converter yang berfungsi menaikkan tegangan menjadi 50 Volt. Untuk mendapatkan tegangan konstan dari converter dilakukan pengaturan duty cycle dengan cara memberikan umpan balik dari tegangan keluaran converter itu sendiri. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang sistem pengendalian duty cycle converter menggunakan Fuzzy Logic Controller berbasis mikrokontroler ATMEGA16, sehingga dapat memperoleh duty cycle konstan dan dapat memanfaatkan tegangan sel surya secara maksimal. Fuzzy Logic Controller dalam proyek akhir ini telah berhasil mempertahankan tegangan keluaran konverter boost sebesar 50 Volt dari tegangan masukan yang berkisar 9 Volt – 20 Volt.

Kata kunci: boost converter, duty cycle, PWM, fuzzy logic controller

ABSTRACT

Solar energy is a renewable energy source with unlimited availability. To obtain electrical energy from the sun, solar cell are required to change light energy from the sun into electrical energy. Solar energy that generated by 50 Watt Peak (WP) solar panels ranged between 9 Volts - 20 Volts. In order to obtain the battery charging voltage of 48 volt needed a boost converter circuit that serve to raise the voltage to 50 Volts. To obtain a constant voltage of the converter duty cycle settings done by providing feedback from the output voltage converter itself. The purpose of this final project is to design a converter duty cycle control system using Fuzzy Logic Controller based on microcontroller atmega16, so as to obtain a constant duty cycle and can utilize the solar cell voltage to maximum. Fuzzy Logic Controller in this final project has maintained a boost converter output voltage of 50 volts of input voltage ranges from 9 Volt - 20 Volt.

Key words: boost converter, duty cycle, PWM, fuzzy logic controller

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk yang terus meningkat mengakibatkan kebutuhan energi pun terus bertambah. Hal ini bertolak belakang dengan ketersediaan energi fosil yang selama ini menjadi bahan bakar utama yang semakin menipis, energi fosil ini sendiri adalah energi yang tidak dapat diperbaharui karena membutuhkan waktu yang sangat lama dalam pembentukannya.

Untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat, pemerintah terus mengembangkan berbagai energi alternatif, di antaranya energi terbarukan. Potensi energi terbarukan, seperti biomassa, panas bumi, energi surya, energi air, dan energi angin sampai saat ini belum banyak dimanfaatkan, padahal potensi energi terbarukan di Indonesia sangat besar.

Terkait dengan energi surya, sebagai negara tropis Indonesia mempunyai potensi energi surya yang cukup besar. Berdasarkan data penyinaran

matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia, radiasi surya di Indonesia dapat diklasifikasikan berturut-turut sebagai berikut: untuk kawasan barat dan timur Indonesia dengan distribusi penyinaran di Kawasan Barat Indonesia (KBI) sekitar 4,5 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan sekitar 10%; dan di Kawasan Timur Indonesia (KTI) sekitar 5,1 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan sekitar 9%. Dengan demikian, potensi angin rata-rata di Indonesia sekitar 4,8 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan sekitar 9%.

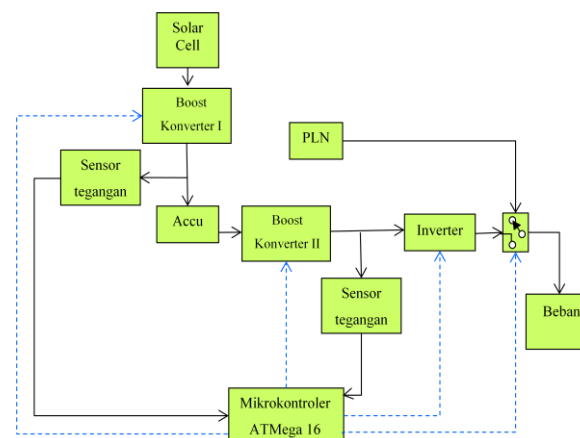
Untuk pemanfaatan energi matahari pada pembangkitan tenaga listrik skala kecil, maka diperlukan sebuah pengatur tegangan agar tegangan yang dihasilkan konstan. Selain itu diperlukan juga sebuah baterai sebagai media penyimpanan energi. Dari baterai tegangan yang dihasilkan belum bisa digunakan untuk menyuplai beban, sehingga diperlukan inverter agar bisa menyuplay tegangan listrik seperti pada PLN. Karena matahari tidak bersinar sepanjang hari, maka diperlukan sebuah pemutus tegangan otomatis apabila baterai tidak dapat suplay dari matahari dengan menggunakan pengaturan dari mikrokontroler, dan suplay energi akan dikembalikan pada PLN, sehingga suplay listrik pada beban tetap mengalir.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam Proyek Akhir ini adalah dengan mensimulasikan fuzzy logic controller pada sistem yang menggunakan *boost converter* sebagai DC-DC converter penaik tegangan. Dalam Proyek Akhir ini digunakan dua software, yaitu *Power Simulator* (PSIM) yang digunakan untuk mensimulasikan hasil perhitungan perancangan komponen blok yang dibutuhkan. Software kedua adalah *Matrix Laboratory* (MATLAB) yang digunakan untuk mensimulasikan fuzzy logic controller sebagai pengatur tegangan keluaran dari *boost converter* setelah sel surya.

Dalam Proyek Akhir ini digunakan *boost converter* dikarenakan tegangan keluaran dari panel surya 50 WP berkisar antara 15 V – 24 V, sedangkan tegangan yang dibutuhkan untuk pengisian accu adalah 50 V karena accu yang digunakan adalah accu 48 V. juga digunakan untuk menaikkan tegangan keluaran accu 48 V menjadi tegangan 220V DC untuk selanjutnya diinputkan ke inverter untuk diubah ke tegangan AC 220 V. Untuk mendapatkan tegangan konstan dari converter dilakukan pengaturan *duty cycle* dengan cara memberikan umpan balik dari tegangan keluaran converter itu sendiri. Dengan

menggunakan Fuzzy Logic Controller, masukan yang berupa error tegangan dan delta error tegangan akan diproses guna mendapatkan nilai *duty cycle* sinyal PWM (Pulse Width Modulation), nilai inilah yang digunakan sebagai acuan pembangkit PWM. Blok diagram secara keseluruhan dari sistem ditunjukkan pada **Gambar 1**. Energi cahaya matahari yang diterima permukaan panel surya diubah menjadi aliran listrik dc oleh elektron dari *photovoltaic*. Tegangan keluaran dari sel surya akan dinaikkan oleh rangkaian *boost converter* sebelum masuk ke accu 48 Volt.



Gambar 1. Blok diagram sistem

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam Proyek Akhir ini dirancang dua buah *boost converter*, inverter, filter pasif, dan program fuzzy logic controller dengan pembahasan seperti di bawah ini:

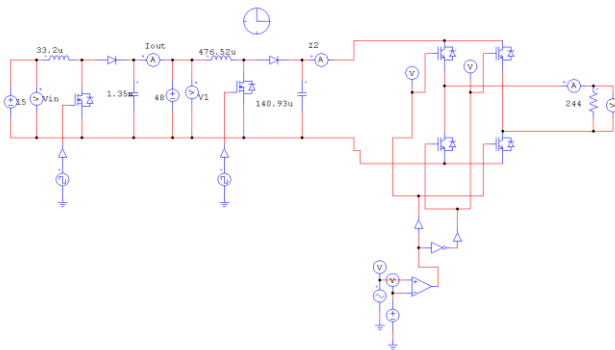
3.1. Rangkaian Inverter Satu Fasa

Rangkaian Single Phase Full Bridge Inverter menggunakan Mikrokontroler ATmega 16 sebagai pembangkit PWM untuk menyulut mosfet Single Phase Full Bridge Inverter. PWM keluaran dari mikrokontroler ATmega 16 dihubungkan ke rangkaian optocoupler yang digunakan sebagai pemisah antara mikrokontroler dan mosfet Single Phase Full Bridge Inverter. Dengan rangkaian optocoupler, Mikrokontroler sebagai pembangkit PWM utama terhindar dari kerusakan apabila terdapat arus balik dari rangkaian Single Phase Full Bridge Inverter.

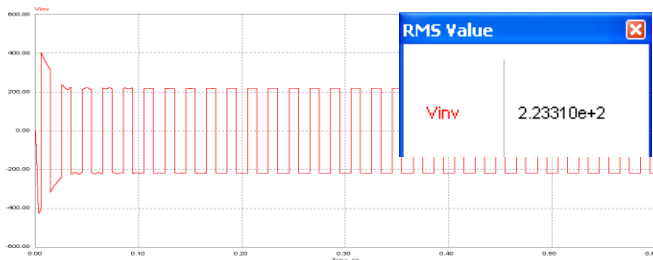
PWM keluaran dari rangkaian optocoupler digunakan untuk melakukan switching atau perubahan kondisi dari low ke high dengan cepat. PWM untuk penyulutan mosfet didesain dengan

frekuensi 50 Hz. Single Phase Full Bridge Inverter memperoleh masukan dari keluaran Boost Converter sebesar 220 Vdc dan didisain untuk menghasilkan tegangan keluaran sebesar 220 Vac

Pada rangkaian Single Phase Full Bridge Inverter membutuhkan empat buah piranti switching (MOSFET) yang bekerja secara berpasangan dan bekerja (on-off) secara bergantian. Maka dibutuhkan dua buah pulsa yang bekerja on-off secara bergantian. Rangkaian Single Phase Full Bridge Inverter pada Proyek Akhir ini didisain untuk menghasilkan tegangan 220 Vac dan arus 1,07 Ampere. Untuk menghasilkan tegangan dan arus tersebut, maka piranti yang sesuai untuk Single Phase Full Bridge Inverter menggunakan MOSFET tipe IRFP 460. MOSFET IRFP 460 memiliki kemampuan switching diatas 50 KHz. Tegangan drain-source (Vds) cukup aman untuk tegangan 220 V, Karena MOSFET IRFP 460 memiliki batas kemampuan tegangan drain-source sampai 500 V dan arus drain ID 20 Ampere. Gambar simulasi dan hasil simulasi gelombang tegangan Single Phase Full Bridge Inverter dapat dilihat pada **Gambar 2**



Gambar 2. . Simulasi rangkaian boost converter dan single Phase Full Bridge Inverter



Gambar 3. Simulasi gelombang tegangan keluaran rangkaian boost converter dan single Phase Full Bridge Inverter

Pada Proyek Akhir ini daya keluaran inverter didesain sebesar 200 Watt dengan efisiensi 85%, sehingga dapat diketahui besar arus masukan inverter :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (1)$$

$$0.85 = \frac{200}{220 \times I_{in}} \\ I_{in} = \frac{200}{220 \times 0.85} = 1.07 \text{ A}$$

3.2. Boost Converter

Konverter *boost* pada Proyek Akhir ini digunakan sebagai regulator 15 Volt sampai 24 Volt ke 50 Volt untuk *charging accumulator* 48 V 12 AH. Terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu MOSFET sebagai *switch*, induktor, kapasitor, diode, dan beban.

Untuk mendesain konverter yang baik diperlukan perhitungan nilai komponen-komponen yang tepat. Karena nilai komponen yang tidak tepat, dapat menyebabkan hasil keluaran yang kurang baik, seperti keluarnya *ripple* tegangan dan arus yang terlalu besar. Untuk mendesain rangkaian konverter, perlu ditetapkan beberapa variable.

Untuk menentukan nilai komponen untuk boost converter setelah solar cell dilakukan dengan perhitungan:

- Frekuensi switching : 40 KHz
- Tegangan output : 50 V
- Tegangan input minimum : 15 V
- Arus beban : 1,5 A (max)
- Ripple Arus : 10% (588 mA)
- Ripple tegangan : 0.5% (0.1 Volt)

Dari data yang ditetapkan diatas, dapat dihitung nilai-nilai komponen yang digunakan, yaitu:

1. Perhitungan duty cycle:

$$D = (1 - \frac{V_{in-min}}{V_{out}}) \times 100\% \quad (2)$$

$$D = (1 - \frac{15}{50}) \times 100\% = 70\%$$

2. Perhitungan nilai induktor:

$$\Delta I_L = 0,4 \times I_{in} = 0,4 \times I_{out} \times [\frac{V_{out} + V_f}{V_{in-min}}] \quad (3)$$

$$\Delta I = 0,4 \times 1,5 \times [\frac{50 + 0,7}{15}] = 2,028 \text{ A}$$

$$L = (\frac{1}{f}) \times [V_{out} + V_f - V_{in-min}] \times (\frac{V_{in-min}}{V_{out} + V_f}) \times (\frac{1}{\Delta I_L}) \quad (4)$$

$$L = \frac{1}{40000} \times 10,56 \times \frac{1}{2,028} = 130,177 \mu\text{H}$$

$$I_{C,rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_o^2 dt} = \sqrt{1,79^2 - 1,5^2} = 1,79 \text{ A}$$

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta V_o} = \frac{I_{C,RMS} \times D \times T}{\Delta V_o}$$

$$C = \frac{0,98 \times 0,7 \times 25.10^{-6}}{0,05} = 343 \mu F$$

Sedangkan untuk boost converter dari keluaran baterai, nilai kompoen dapat dihitung dengan persamaan (2) sampai (5) dengan nilai-nilai

yang diketahui:

- Tegangan input (Vs) : 48 Volt
- Tegangan output (Vo) : 220 Volt
- Ripple tegangan : 0,1%
- Arus output (Io) : 1,07 A (max)
- Ripple arus : 10%
- Frekuensi switching : 40 KHz

1. Perhitungan duty cycle:

$$D = (1 - \frac{V_{in-min}}{V_{out}}) \times 100\% =$$

$$D = (1 - \frac{48}{220}) \times 100\% = 78,18\%$$

2. Perhitungan nilai induktor:

$$\Delta I_L = 0,4 \times I_{in} = 0,4 \times I_{out} \times [\frac{V_{out} + V_f}{V_{in-min}}]$$

$$\Delta I_L = 0,4 \times 1,07 \times [\frac{220 + 0,78}{48}] = 1,97 A$$

$$L = \frac{1}{40000} \times 37,57 \times \frac{1}{1,97} = 476,52 \mu H$$

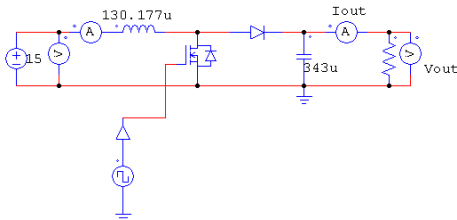
3. Perhitungan nilai kapasitor:

$$I_{C,rms} = \sqrt{I_{D,RMS}^2 - I_o^2} = \sqrt{1,27^2 - 1,07^2} = 1,59 A$$

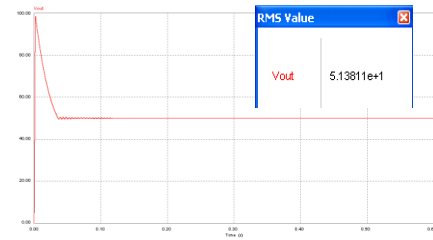
$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta V_o} = \frac{I_{C,RMS} \times D \times T}{\Delta V_o}$$

$$C = \frac{1,59 \times 0,78 \times 25.10^{-6}}{0,22} = 140,93 \mu F$$

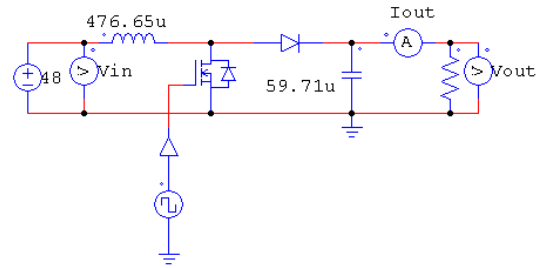
Dari nilai-nilai komponen di atas, dapat disimulasikan *boost converter* dengan menggunakan PSIM seperti terlihat pada **Gambar 3** dan **Gambar 4** di bawah ini.



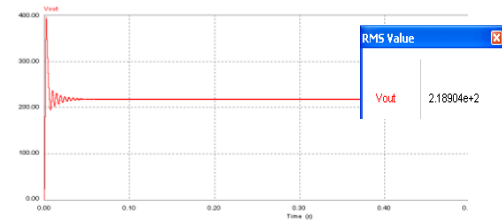
Gambar 4. Rangkaian simulasi konverter boost I



Gambar 5. Gelombang tegangan keluaran hasil simulasi



Gambar 6. Rangkaian simulasi konverter boost II



Gambar 7. Gelombang tegangan keluaran hasil simulasi

3.3. Kontrol Logika Fuzzy

Kontrol logika fuzzy yang dipakai dalam sistem ini adalah tipe mamdani. Fungsi keanggotaan yang direncanakan untuk input Err dan ΔErr (kesalahan dan perubahan kesalahan) yang masing-masing terdiri dari tiga *membership function*, di mana:

$$Err(n) = SP(n) - PV(n)$$

$$\Delta Err(n) = Err(n) - Err(n-1)$$

Sedangkan fungsi keanggotaan output fuzzy terdiri dari 5 *membership function*. *Membership function* input dan output dapat dilihat pada **tabel 1** di bawah ini:

Tabel 1. Membership fuction input dan output fuzzy

Error Δerror	NB	ZE	PE
NE	cPBO	cNMO	cNSO
ZE	cPSO	cZO	cNSO
PE	cNSO	cNMO	cPBO

Bentuk *membership function* mempengaruhi proses fuzzy dalam jalan yang tidak diketahui.

Sebagai contoh, bentuk fungsi mempengaruhi secara langsung waktu dan ruang yang dibutuhkan oleh mikrokontroller dalam mengerjakan fuzzifikasi dan defuzzifikasi. *Membership function* dapat mengambil beberapa bentuk yang berbeda. Bentuk trapezoid dan segitiga adalah yang paling sering digunakan. Meskipun bentuk yang lain mungkin saja lebih mewakili fenomena alam yang terjadi, bentuk lain tersebut membutuhkan persamaan yang lebih rumit atau table yang lebih besar terhadap keakuratan yang diwakilinya. Singleton mudah diaplikasikan dalam komputer dengan algoritma defuzzifikasi yang sederhana. Bentuk segitiga dan trapezoid sering digunakan untuk menggambarkan defuzzifikasi. Pada proyek akhir ini *membership function* input berupa segitiga dan trapesoidal.

Pada Proyek Akhir ini, input dari logika fuzzy yang digunakan adalah input tegangan yang terdiri dari input error dan delta error. Metode yang digunakan pada logika fuzzy ini adalah menggunakan metode Mamdani.

50	0.95	50	113	0.3	47.5	33.9	71.37
50	1.54	60	148.2	0.34	77	50.388	65.44
50	2.7	70	200	0.4	135	80	59.26
50	3.1	72	222	0.43	155	95.46	61.59

4.3. Pengujian Fuzzy Logic Kontroller pada Konverter Boost I

Dalam Proyek Akhir ini digunakan fuzzy logic controller sebagai pengatur duty cycle boost I yang berfungsi sebagai charger accu 48 Volt. Pengaturan duty cycle dilakukan untuk menjaga tegangankeluaran konverter boost konstan 50 Volt. Pada tabel 4 di bawah ini ditunjukkan tegangan dan arus masukan serta tegangan dan arus keluaran konverter boost I setelah dikontrol dengan fuzzy logic controller.

Tabel 4. Data Pengujian konverter boost I (50 Volt – 220 Volt) dengan fuzzy logic controller

Vin (Volt)	Iin (Ampere)	Vout (Volt)	Iout (Ampere)	Pin (Watt)	Pout (Watt)	Efisiensi (%)
9	0.054	50.1	0.005	0.486	0.2505	51.54
10	0.072	50.2	0.001	0.72	0.0502	6.97
11	0.089	50.2	0.015	0.979	0.753	76.92
12	0.101	50.2	0.02	1.212	1.004	82.84
13	0.101	50.2	0.022	1.313	1.1044	84.11
14	0.101	50.2	0.025	1.414	1.255	88.76
15	0.111	50.2	0.03	1.665	1.506	90.45
16	0.125	50.3	0.035	2	1.7605	88.03
17	0.139	50.3	0.043	2.363	2.1629	91.53
18	0.156	50.4	0.05	2.808	2.52	89.74
19	0.171	50.4	0.06	3.249	3.024	93.07

4.4. Pengujian Integrasi

Pada saat seluruh sistem dijalankan dan inverter dibebani, arus pengisian accu menunjukkan arah negatif. Hal ini menunjukkan bahwa arus pemakaian accu lebih besar dari arus pengisiannya. Sehingga pengambilan karakteristik pengisian accu dilakukan pada saat inverter tidak dibebani.

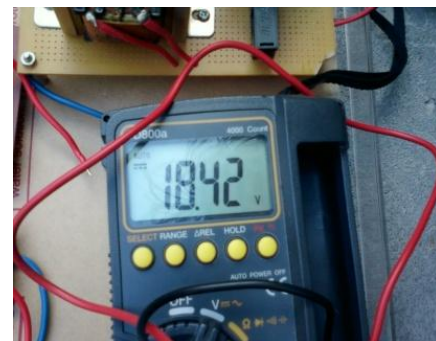
Tabel 5 Arus pengisian accu mulai pukul 9:00 sampai 14:00 WIB.

Jam	Vin (Volt)	Iin (Ampere)	Vout (Volt)	Iout (Ampere)
9:00	18.17	0.52	50.1	0.35

9:30	19.07	0.58	51.2	0.32
10:00	17.86	0.47	49.8	0.31
10:30	18.47	0.5	50.2	0.3
11:00	19.23	0.67	51.2	0.29
11:30	18.43	0.54	50.3	0.28
12:00	18.34	0.57	50.1	0.28
12:30	17.93	0.49	49.9	0.27
13:00	18.42	0.52	50.4	0.27
13:30	18.96	0.58	50	0.25
14:00	19.07	0.63	50.4	0.23

Dari tabel 5 di atas diketahui bahwa arus pengisian accu sangatlah kecil. Besar tegangan awal accu adalah 49 Volt karena jika tegangan accu di bawah 49 Volt solar cell dengan daya 50 WP belum mampu untuk mengisi accu tersebut. Hal ini disebabkan konverter boost menyerap arus yang cukup tinggi untuk memenuhi arus yang diperlukan untuk pengisian accu, sedangkan kemampuan arus keluaran solar cell hanya 3 Ampere saja.

Pada saat solar sel dijadikan sumber boost I, tegangan keluaran solar cell sebesar 18,42 Volt, sedangkan tegangan keluaran konverter boost I sebesar 50,4 Volt seperti ditunjukkan oleh gambar 10 dan 11



Gambar 10. Tegangan keluaran solar cell



Gambar 11. Tegangan keluaran konverter boost I

Tegangan keluaran dari accu digunakan sebagai input konverter boost II sebesar 50,4 Volt dinaikkan menjadi 222 Volt seperti ditunjukkan pada gambar 12.



Gambar 12. Tegangan keluaran konverter boost II

Selanjutnya tegangan keluaran konverter boost II dimasukkan ke inverter 1 phase untuk mengubah tegangan DC tersebut menjadi tegangan AC. Tegangan keluaran inverter 1 phase sebesar 238,7 Volt seperti ditunjukkan pada gambar 4.13



Gambar 4.13 Tegangan keluaran inverter 1 phase

5. PENUTUP

5.1. KESIMPULAN

Setelah melalui beberapa proses perencanaan, pembuatan dan pengujian alat serta dari beberapa data yang didapat dari pengujian dan pembuatan Tugas Akhir ini, maka dapat diberikan kesimpulan sebagai berikut

1. Konverter boost I yang dibuat telah mampu menaikkan tegangan masukan 7 Volt – 20 Volt menjadi 50 Volt.
2. Konverter boost II yang dibuat telah mampu menaikkan tegangan masukan 48 Volt – 50 Volt menjadi 220 Volt.

3. Efisiensi pada konverter boost II menurun seiring naiknya duty cycle yaitu 85.33 % pada duty cycle 12% dan 61.59% pada duty cycle 72%
4. Solar cell 50 WP kurang efektif digunakan dalam pengisian accu 48 Volt karena arus keluaran maksimum hanya 3 Ampere sedangkan boost konverter membutuhkan arus input yang sangat besar.
5. Desain kontroll fuzzy yang diterapkan telah mampu menstabilkan tegangan keluaran konverter boost I, yaitu 50 Volt.

5.2. SARAN-SARAN

Dalam pengerjaan dan penyelesaian Proyek Akhir ini tentu tidak lepas dari berbagai macam kekurangan dan kesalahan, baik itu pada perancangan sistim maupun pada proses pemnuatan Proyek Akhir yang telah dibuat. Untuk memperbaiki kekurangan-kekurangan tersebut, maka perlu melakukan hal-hal sebagai berikut:

1. Dalam pengisian accu 48 Volt dengan menggunakan solar cell, akan lebih efektif jika solar cell yang digunakan lebih dari 50 WP.
2. Desain dan pembuatan induktor yang lebih baik serta penempatannya pada PCB karena desain yang buruk dapat menyebabkan *losses* pada rangkaian.
3. Perencanaan yang tepat dan kesesuaian pembuatan dengan perencanaan.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Hendrawan, Bagus. 2009. *Desain Pembangkit Tenaga Listrik Hybrid untuk Penerangan di Tambak (Solar Cell)*. Surabaya: Proyek Akhir PENS-ITS.
2. Arifin, Zainal. 2009. *Portabel Solar Charger*. Surabaya: Proyek Akhir PENS-ITS.
3. Budiawan, Fandi. 2009. *Rancang Bangun Alat Penyiraman Taman dengan Menggunakan Matahari Sebagai Energi Alternatif (Buck Konverter)*. Surabaya: Proyek Akhir PENS-ITS
4. Wulandari, Triyas Ika. 2010. *Rancang Bangun Sistem Penggerak Pintu Air dengan Memanfaatkan Energi Alternatif Matahari*. Surabaya : Proyek Akhir PENS – ITS
5. Muhammad, R. 2003. *Elektronika Daya Jilid 1*. New Jersey: Prentice Hall Inc.
6. <http://www.esdm.go.id/news-archives/56-artikel/3347-pemanfaatan-energi-surya-di-indonesia.html>. Diakses pada 6 Juli 2010, pukul 10:47

7. Daniel W. Hart.1997. *Introduction to Power Electronics*. New Jersey: Prentice-Hall International.
8. www.google.com/solarcell.htm. Diakses pada 24 Juni 2010, pukul 12:31
9. http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell.htm. Diakses pada 24 Juni 2010, pukul 12:33